

Markus Kallava

Vesikiertoisten jäähdytys- ja lämmityssäteilypaneelien suunnitteluohje

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

6.10.2017

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Markus Kallava Vesikiertoisten jäähdytys- ja lämmityssäteilypaneelien suunnitteluohje 34 sivua 6.10.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-insinööri, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja(t)	yliopettaja Jukka Yrjölä insinööri Mika Reinikainen
<p>Työn tarkoituksena on toimia ohjeena vesikiertoisten säteilypaneelien suunnittelussa niin lämmitys- kuin jäähdytystarkoitukseen. Työssä on käytetty kirjallisuutta ja laitevalmistajien ohjeita sekä suunnittelijoiden kokemuksia säteilypaneelien suunnittelusta. Säteilypaneelien yleistyessä halutaan suunnitteluun kiinnittää entistä enemmän huomiota, jotta säteilypaneelin energiatehokkuus sekä käyttäjämukavuus saadaan hyödynnettyä.</p> <p>Insinöörityössä käydään läpi lämmönsiirron peruselementtien lisäksi säteilyn edut ja haitat lämmönsiirtomuotona. Tarkoituksena on luoda kuva suunnittelijalle lämpösäteilyn luonteesta sekä kuinka se käyttäytyy eri olosuhteissa. Lisäksi työssä selostetaan vesikiertoisten säteilypaneelien ja niiden toimilaitteiden tuotevalikoimaa sekä eri järjestelmien käyttökohteet ja käyttötavat.</p> <p>Säteilypaneeli on energiatehokas, vedoton ja esteettisesti toimiva ratkaisu rakennuksen jäähdytys- ja lämmitystavaksi. Suunnitteluohje kokoaa tietoja vesikiertoisten säteilypaneelien suunnittelusta.</p>	
Avainsanat	säteilylämmitys, lämmityspaneeli, jäähdytyspaneeli

Author Title Number of Pages Date	Markus Kallava Design guide for hydronic radiant cooling and heating ceiling panels 34 pages 6 October 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design orientation
Instructors	Mika Reinikainen, Bachelor of Engineering Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of this bachelor's thesis was to create a guide to help design a hydronic radiant cooling and heating system with ceiling panels. The thesis was based on literature, information provided by radiant heating manufacturers, as well as on the experience of designers of cooling and heating. The ultimate goal was to recognize aspects of designing that make the system more efficient and comfortable.</p> <p>The thesis reviewed the basic heat transfer elements and the advantages and disadvantages of radiant heat transfer. The purpose was to introduce the characteristics of radiant heat transfer and its functions in different circumstances. In addition, a range of hydronic ceiling panels and actuators were compared, and various applications and modes of operation were analyzed.</p> <p>As radiant ceiling panels are an efficient, draught-free and aesthetic solution for cooling and heating buildings, they are becoming more common. Therefore, this guide offering the most essential information about hydronic ceiling panels in one single document will be very useful for designers.</p>	
Keywords	radiant heating, heating panel, cooling panel

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lämpösäteily	1
2.1	Ihmissen lämmönvaihto	1
2.2	Lämmönsiirto talotekniikassa	2
2.2.1	Johtuminen	2
2.2.2	Konvektio	2
2.2.3	Säteily	2
2.3	Säteilylämpö	3
2.4	Säteily pinnoista	3
2.5	Säteilyn teoriaa	4
3	Säteilypaneelit	7
3.1	Säteilypaneelin toiminta	7
3.2	Säteilypaneelityypit	10
3.3	Käyttökohteet	12
4	Säteilypaneelien suunnittelu	13
4.1	Paneelin mitoitus	13
4.2	Putkiston mitoitus	15
4.2.1	Turbulenttisuus	15
4.2.2	Säätöryhmät	16
4.2.3	Säätöventtiilit	18
4.2.4	Kastepisteautomaattikka	21
5	Case-tarkastelu	22
5.1	Tehontarvelaskenta	22
5.2	Paneelien mitoitus	22
5.3	Virtaama	26
5.4	Painehäviö	26
5.5	Putkiston tasapainotus	27
5.6	Säätö	29
6	Yhteenveto	32

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on laatia suunnittelijalle yksinkertainen ja helppokäyttöinen kokonaisuus siitä, kuinka säteilypaneelit tulee suunnitella niin lämmitys- kuin jäähdytyskäyttöön. Työssä käydään läpi säteilypaneelien erilaisia toimilaitteita, mitoitusta, asennustapoja ja niiden vaikutuksia suunnitteluun, suunnittelun teoriaa sekä vinkkejä paneelien ryhmittelyyn ja säätöön.

Työn tilaaja on Granlund Oy, joka on yksi suomen suurimmista talotekniikan suunnittelu- ja konsultointiyrityksistä. Granlundilla on referenssikohteita säteilypaneelisuunnittelusta, joista saatuja kokemuksia hyödynnetään tässä työssä. Työn on tarkoitus toimia Granlundin suunnittelijoille apuna säteilypaneelien suunnittelussa ja mitoituksessa.

Säteilypaneelivalmistajia on Suomessa toistaiseksi vähän, mutta muutamat paneelivalmistajat myyvät Suomessa paneelejaan, vaikka ne valmistetaan muualla. Säteilypaneeleja on saatavilla runsaasti ulkomailta, joissa säteilylämmönsiirto on yleisempää. Tässä työssä käydään läpi suunnitteluohjeet Suomesta saatavien paneelityyppien osalta. Työssä on käytetty apuna suomalaisten laitevalmistajien ohjeita ja ammattitaitoa.

2 Lämpösäteily

2.1 Ihmisen lämmönvaihto

Ihmisestä siirtyy lämpöä ympäristöön kolmella tavalla: konvektiona, latenttina lämpönä ja säteilynä.

Konvektiosta osa on ns. omakonvektiota, joka tarkoittaa sitä, että ihon lämpö aiheuttaa ylöspäin suuntautuvan ilmavirtauksen ja sitä kautta johtaa lämpöä ihosta ilmaan. Loput aiheutuvat tahattomasta ympäristön ilmavirrasta, kuten ilmastoinnista tai vedosta.

Latenttilämpö tarkoittaa hien höyrystymisen vaatimaa lämpömäärää, joka jäähdyttää kehoa ja lisää vastaavasti tilan kosteutta ja sen myötä ilman lämpösisältöä.

Säteily tarkoittaa lämmön vaihtumista kahden kappaleen välillä ilman väliainetta tai sen läpi. Ihminen säteilee jonkin verran lämpöä ympäristöön riippuen aktiviteetista ja vaate-tuksen määrästä. (1, s. 15.)

2.2 Lämmönsiirto talotekniikassa

Lämpöä siirtyy kolmella eri tavalla, jotka on esitetty kuvassa 1: johtumalla, konvektiona ja säteilynä.

2.2.1 Johtuminen

Johtuminen eli konduktio tarkoittaa lämmön siirtymistä kiinteästä aineesta toiseen. Esimerkiksi talon seinärakenteessa, kun lämpö siirtyy sisäilmasta ulkoilmaan, se johtuu seinän julkisivusta kunkin rakennekerroksen läpi aina sisäseinään saakka. Johtumiseen vaikuttaa olennaisesti aineiden lämmönjohtavuus ja rakenteen paksuus. Lämmönjohtumista estetään rakennuksissa seinien sekä ylä- ja alapohjan eristyksillä. (2, s. 60–63.)

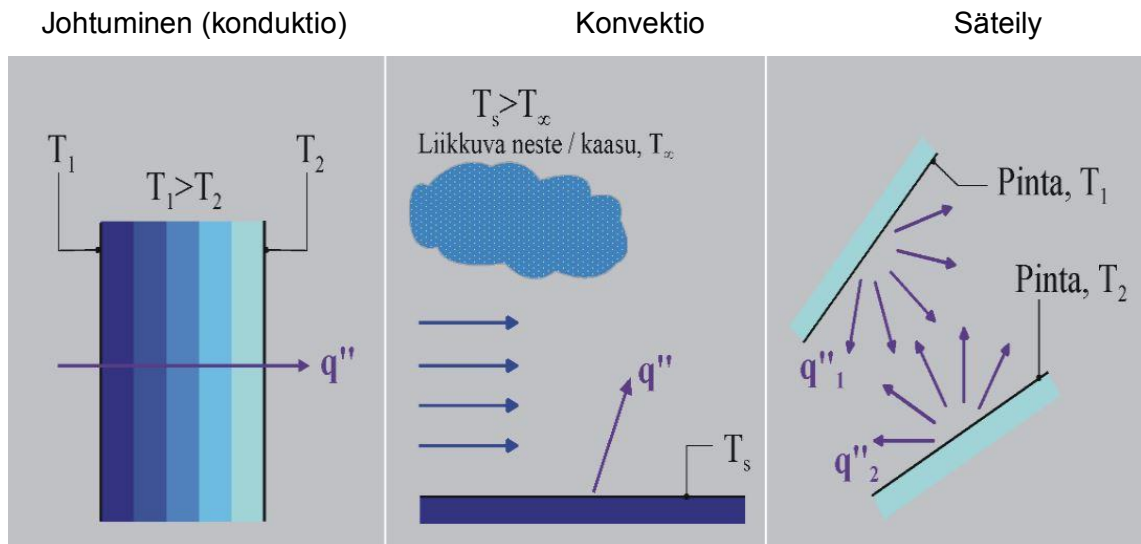
2.2.2 Konvektio

Konvektio on sama kuin konduktio sillä erotuksella, että konvektiossa lämpö siirtyy johtumisen lisäksi kuljettumalla ja fluidissa eli nesteessä tai kaasussa. Konvektiota tapahtuu esimerkiksi lämmityspatterissa, kun neste liikkuu patterin sisällä ja johtuu patterin pintaan, josta eteenpäin ilmaan. Konvektiona tapahtuvaa lämmönsiirtoa laskettaessa pitää määritellä lämmönsiirtokerroin, joka määräytyy eri tilanteissa erilaisilla laskukaavoilla, jotka on kehitetty osittain teoreettisesti ja osittain kokeellisesti. Putkijohdoista siirtyy myös lämpöä ilmaan tahattomasti konvektion avulla, ja tällaisissa tilanteissa sitä pyritään estämään hyödyntämällä konduktiota, eli eristämällä putken pinta ulkoilmasta mahdollisimman vähän lämpöä johtavalla materiaalilla: putkieristeellä. (2. s. 60–63.)

2.2.3 Säteily

Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä, jonka aiheuttaa materiaalin pinnan lämpötila. Mitä kuumempi pinta on, sitä lyhytaaltoisempaa säteilyä se tuottaa. Musta kappale tarkoittaa kappaletta, joka vastaanottaa kaiken siihen osuvan säteilyn ja on ideaali myös

lähettämään säteilyä. Säteilylämmössä väliainetta ei tarvita toisin kuin muissa lämmönsiirtotavoissa. Säteilylämpö siirtyy myös tyhjiössä, ja tämä mahdollistaa tilojen lämmittämisen laaja-alaisesti yhdestä lämpölähteestä, koska etäisyydellä ei ole isoa merkitystä. Tästä esimerkkinä aurinko, joka toimii meidän planeettamme säteilylämmittimenä ja lämmittää maan pintaa 150 miljoonan kilometrin päästä ilman väliainetta. (3, s. 34.)



Kuva 1. Lämmönsiirtymistavat (3, s. 8).

2.3 Säteilylämpö

Säteilylämmöllä tarkoitetaan siis kappaleen säteilemää lämpöä toiseen kappaleeseen jonka lämpötila on alhaisempi. Ihminen tavallisesti säteilee ympäröivän tilan pintoihin lämpöä sillä oletuksella, että pinnat ovat huoneenlämpöisiä. Jos huoneen pinnat ovat lämpimämpiä, vaikka tilan ilman lämpötila pysyisi samana, ihminen kokee huoneen lämpimämpänä, koska ihmisestä säteilevä lämpömäärä ei ole tällöin niin suuri. (1, s. 15)

2.4 Säteily pinnoista

Säteilyenergiaan vaikuttaa monet asiat. Pinnan muoto ja kulma vaikuttaa säteilyn suuntaan ja voimakkuuteen. Emissiivisyyttä kuvataan emissioluvulla $[\epsilon]$, joka ilmaisee pinnan säteilyä verrattuna mustan kappaleen säteilyyn. Mitä suurempi emissioluku on, sitä

enemmän se säteilee ja vastaanottaa säteilyä. Mustan kappaleen emissioluku on 1. Taulukossa 1 on taulukoitu joitain tavanomaisia rakennuksen pintamateriaaleja ja niiden emissiolukuja.

Taulukko 1. Erilaisten pintojen emissiolukuja (1, s.18).

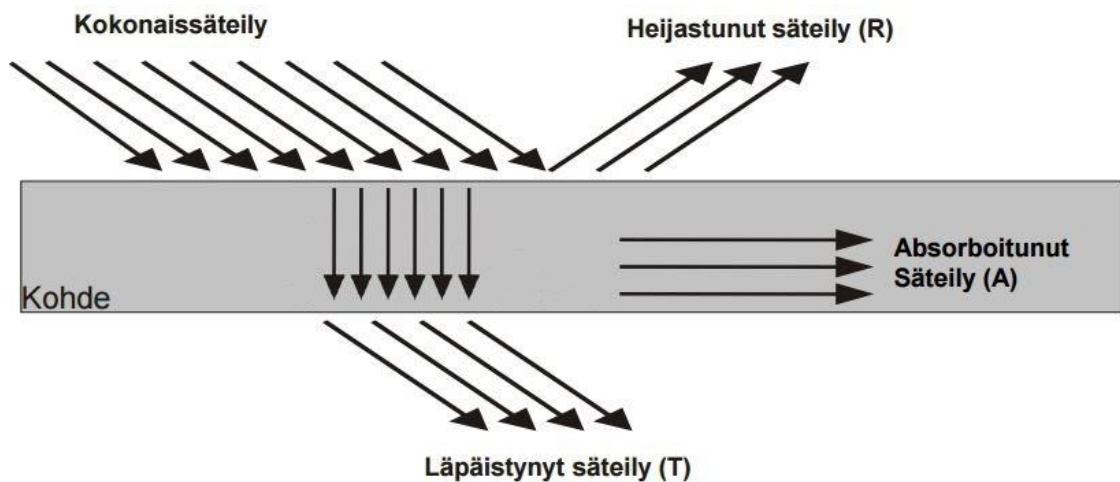
Alumiini, kiiltäväksi valssattu:	0,04
Kupari, kiillotettu:	0,03
Lasi:	0,94
Puu (pyökki):	0,94
Tiili rapattu:	0,93
Betoni:	0,88
Valkoinen maali:	0,95
Mattapintainen musta maali:	0,97

Vaikka lasin emissiivisyys on suuri, auringon säteily läpäisee sen, koska auringon lämpö on niin suuri, että sen säteilyn aallonpituus on riittävän pieni päästäkseen lasin läpi. Huomion arvoista on myös, että valkoisen ja mustan maalin säteily ja säteilyn vastaanotto on samaa luokkaa. Metallipinnoilla on pieni emissiivisyys, ja näin ollen ne eivät säteile tai vastaanota säteilyä juurikaan, vaan heijastavat sen ympäristöönsä. (1, s. 18)

2.5 Säteilyn teoriaa

Kokonaissäteily koostuu kolmesta osasta, jotka on esitetty kuvassa 2: kappaleesta heijastuneesta säteilystä, kappaleeseen absorboituneesta säteilystä ja kappaleen läpäisystä säteilystä.

$$\text{Kokonaissäteily} = A + R + T = 1$$



Kuva 2. Kokonaissäteily (4).

Kappaleeseen absorboituvan lämmön voi laskea säteilylämmönsiirron kaavalla

$$q_r = \sigma F_r * \varphi * \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right), \text{ jossa} \quad [1]$$

q_r on aktiivisen paneelipinnan nettolämmönsiirto, W/m^2

σ on Stefan-Boltzmannin vakio = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$

F_r on säteilyn muuntokerroin

T_1 on säteilypaneelipinnan efektiivinen lämpötila, $^{\circ}\text{C}$

T_2 on teoreettisen pinnan lämpötila (lämmitettävä tai jäähdytettävä), $^{\circ}\text{C}$

φ on kulmakerroin

Teoreettisen pinnan lämpötilalla tarkoitetaan tilan muiden kuin paneelin pintojen lämpötilojen painotettua keskiarvoa.

Kuten taulukosta 1 nähdään, ei-metallisten ja maalattujen pintojen, jotka ovat sisätiloissa hyvin yleisiä, emissiivisyys on noin 0,9. Käytetään kaavassa säteilyn muuntokerroinena $F_r = 0,87$. Kun F_r kerrotaan Stefan-Boltzmannin vakiolla, saadaan σF_r -arvoksi

$4,93 \cdot 10^{-8}$. Lisäksi kun lämpötilaeron pintojen lämpötiloissa huomioidaan säteilyn intensiteetti pintojen kulman suhteen, voidaan kulmakerroin jättää kaavasta pois. Näin säteilylämpövirran malliksi lämmitys- ja jäähdytyspaneeleilla saadaan noin

$$q_r = 5 \cdot 10^{-8} \left[(t_p + 273.15)^4 - (AUST + 273.15)^4 \right], \text{ jossa} \quad [2]$$

q_r on aktiivisen paneelipinnan nettolämmönsiirto, W/m^2
 t_p on efektiivinen paneelin pintalämpötila, $^{\circ}C$
 $AUST$ on tilan muiden kuin säteilypaneelien pintalämpötilojen painotettu keskiarvo (lattia, katto, seinät, huonekalut, ikkunat, ovet, jne.), $^{\circ}C$

(4)

Tilan pintalämpötilojen painotetulla keskiarvolla tarkoitetaan paneelin suhteen pintojen kulmien mukaan painotettua keskiarvoa. Jos huone sijaitsee rakennuksen alimmassa kerroksessa, tulee pintalämpötilojen painotetusta keskiarvosta huomattavasti pienempi, koska lattia on kohtisuoraa paneelia vastaan ja on selvästi kylmin pinta. Määritetään laskuesimerkkiin lattian lämpötilaksi $15^{\circ}C$ ja seinien $18^{\circ}C$. Lasketaan paneelin suunnitellulle säteilyalueelle teho, joten jätetään katon lämpötila huomioimatta. Oletetaan myös, että paneeli roikkuu kolmen metrin korkeudella ja huoneen mitat ovat $3 \text{ m} \cdot 3 \text{ m}$ sekä paneelin pinnan lämpötila $40^{\circ}C$. Kuvasta 4 voidaan päätellä, että seiniin kohdistuu vain 50 %:n intensiteetti, kun taas lattiaan 70 - 100 %. Painotus voidaan siis suorittaa siten, että lattia saa osakseen 85 % säteilyintensiteetistä ja seinät 50 %. Lisäksi huomioidaan pinta-alojen erotus painotuksena. Lasketaan painotettu keskiarvo:

$$AUST = \frac{(0,5 \cdot 18) + (0,85 \cdot 0,25 \cdot 15)}{0,5 + (0,85 \cdot 0,25)} = 17,1^{\circ}C \quad [3]$$

Tämän jälkeen asetetaan painotettu keskiarvo ja paneelin pinnan lämpötila kaavaan,

$$q_r = 5 \cdot 10^{-8} [(40 + 273.15)^4 - (17,1 + 273.15)^4] = 126,0 \text{ W/m}^2$$

Jos tässä tapauksessa käytettäisiin esimerkiksi $595 \cdot 1790 \text{ mm}$:n kokoista paneelia, olisi paneelin lämmitysteho kyseisillä lämpötiloilla

$$\phi = 126,0 \cdot 0,595 \cdot 1,79 = 134,1 \text{ W} \quad [4]$$

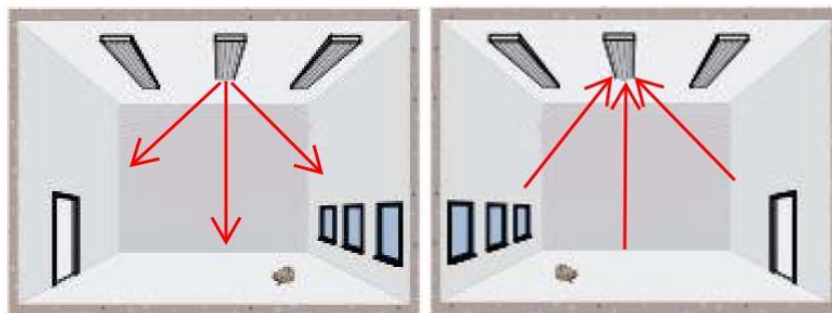
Tämä laskenta kertoo vain paneelin alapinnan lämpösäteilyn tehon, joten todellinen teho voi olla huomattavastikin suurempi kun huomioidaan paneelin yläpinnasta säteilevä teho sekä konvektion avulla siirtyvä teho. (4)

3 Säteilypaneelit

Säteilypaneeleja on ollut käytössä niin kauan kuin vesikiertoista lämmitystä on käytetty talotekniikassa. Tavanomaiset lämpöpatteritkin ovat säteilijöitä, mutta niissä ei ole keskittyä tehostamaan säteilylämmityksen osuutta, vaan haluttu pitää ikkunan aiheuttama vedon tunne poissa lämmittämällä ikkunan alapuolista ilmaa. Viime vuosina säteilylämmitystä on alettu tutkia uudestaan ja kehittää yhä monikäyttöisemmäksi, jotta se soveltuisi kaikenlaisiin tiloihin. Säteilypaneelit ovat saamassa suosiota julkisissa tiloissa sen huomaamattomuuden ja suuriin tiloihin sopivan lämmönsiirtotavan vuoksi. Säteilypaneelien putkitus jää piiloon alakaton alle tai ainakin tilan kattoon, eikä ole tiellä tai aiheuttamassa esteettistä haittaa oleskelukorkeuksilla. Säteilypaneelit kuuluvat matalalämpöjärjestelmiin ja toimivat näin ollen myös ympäristöystävällisillä lämmöntuottojärjestelmillä; esimerkiksi maalämmöllä (12). Säteilijä on pinta-alansa vuoksi tehokas huolimatta matalasta lämmönsiirtonesteen lämpötilasta ja pienestä lämpötilaerosta.

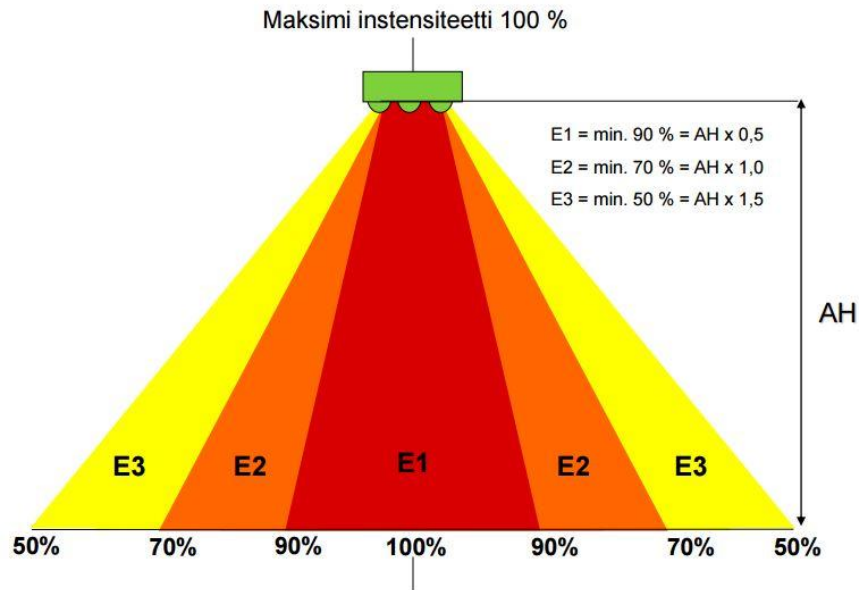
3.1 Säteilypaneelin toiminta

Säteilypaneeli nimensä mukaisesti on paneeli, joka säteilee lämpöä tai vaihtoehtoisesti vastaanottaa lämpösäteilyä; tällöin puhutaan säteilyjäähdytyspaneelistä. Jäähdytystilanteessa paneeli ei siis säteile viileää ympärilleen, vaan ympäristön pinnoissa oleva lämpö säteilee kohti paneelia. Paneelista lähtevä lämpösäteily lämmittää kaikkia pintoja joihin säteily osuu ja jäähdytystilanteessa kaikki säteilypaneelin ”näköpiirissä” olevat pinnat säteilevät lämpöä viileään paneeliin kuvan 3 mukaisesti. Kuitenkin ilman lämmittäminen tai jäähdyttäminen suoraan paneelista on vähäisempää kuin tavanomaisessa lämmitysmuodoissa, sillä säteilypaneelissa lämpösäteilyn osa on selvästi yli kaksi kolmasosaa kokonaislämmityksestä eikä lämpöä siirry konvektiona ilmaan kuin pieni osa. Lisäksi säteilypaneeli jäähdytystilanteessa ei aiheuta vedon tunnetta, koska lämpö tulee kaikista tilan pinnoista ja näin ollen paikallisia ilmavirtauksia ei synny. Säteilylämmön määrä riippuu pinnan emissiivisyyden lisäksi kulmasta, jossa pinta on säteilypaneeliin nähden. (1, s. 21.)

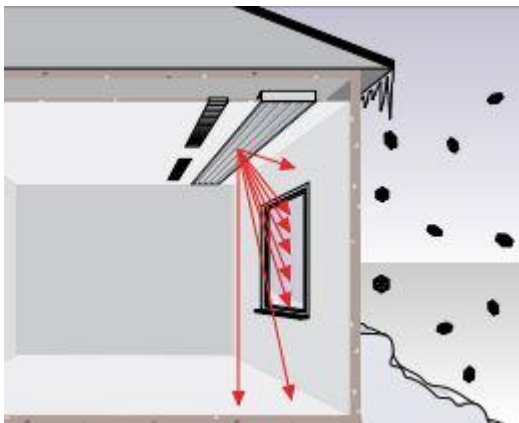


Kuva 3. Säteilylämmön ja -jäähdytyksen kohdistuminen pintoihin (1, s. 7).

Säteilypaneelin lämmitys- tai jäähdytysteho ei ole riippuvainen paneelin ja lämmitettävän pinnan etäisyydestä, mutta paneelin kulma pintojen suhteen on merkityksellinen. Katto-säteilijä ei esimerkiksi kohdista säteilyä seiniin tai ikkunoihin niin paljon kuin lattiaan. Kuvassa 4 on esitetty säteilypaneelin säteilyn intensiteetti paneelin asennuskorkeuden mukaan. AH-mitta kuvaa paneelin alapinnan korkeutta lattiaan nähden ja säteilyalueet E1-E3 intensiteetin laskua kulman kasvaessa. Esimerkiksi, jos paneeli asennetaan kolmen metrin korkeuteen lattiasta, säteilyn intensiteetti kolme metriä paneelin keskilinjasta sivulle on maksimissaan 90 % ja minimissään 70 %. Jos säteilijä halutaan vaikuttamaan seinään, se tulee asentaa mahdollisimman lähelle seinää, jotta säteilyä kohdistuisi myös sinne. Jos seinällä on ikkunoita ulkotilaan, on suositeltavaa paneelien sijoitus painottaa ikkunan puoleisen seinustan lähelle, kuten kuvassa 5. Säteilypaneelin lämpösäteily ei lävistä ikkunaa kuten auringon lämpösäteily, vaan se heijastuu ja osittain absorboituu siihen. Vaihtoehtoisesti paneeli voidaan mahdollisuuksien mukaan asentaa korkeammalle, jotta seinän ja paneelin välinen kulma pienenee ja näin säteilyä kohdistuu enemmän seinäpinnalle. (1, s. 10.)



Kuva 4. Säteilijän säteilykeila (4).

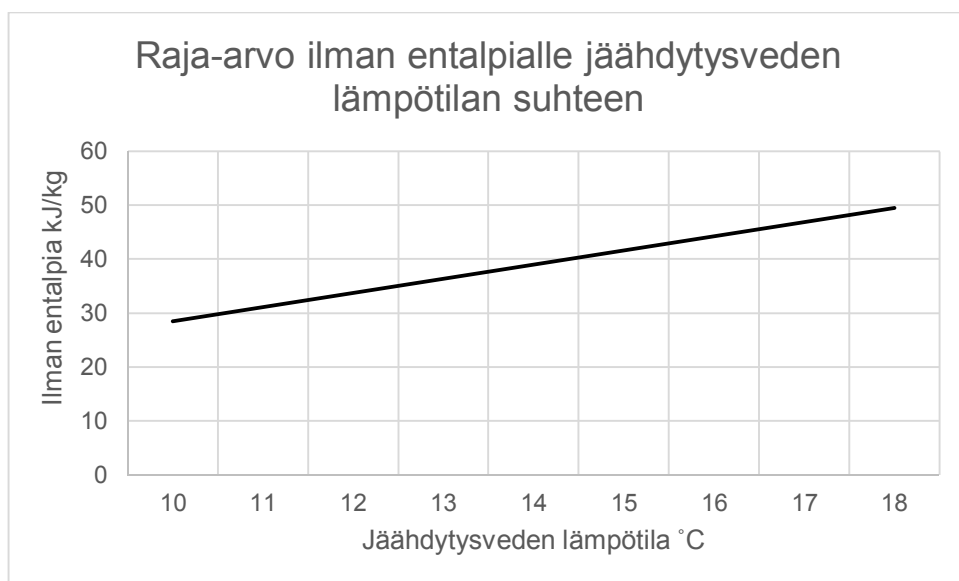


Kuva 5. Säteilypaneeli ikkunan lähellä (1, s. 7).

Säteilylämpö kulkee ilmassa, mutta ei suoraan lävistä mitään materiaaleja. Tilassa johon säteilypaneeli asennetaan, pitää ottaa huomioon kaikki katveessa olevat tilan osuudet, jos sellaisia on. Tällaisia katveja aiheuttavat monesti parvet ja korkeat sermit. Jos katvealue on pieni, ei sitä tarvitse huomioida. Materiaalit, jotka ovat emissiivisiä, vastaanottavat säteilylämpöä ja jatkavat saman lämmön säteilyä eteenpäin, jos ympäristössä on pinta, jonka lämpötila on alhaisempi. Esimerkiksi tilassa, jossa on lämmittävä säteilypaneeli kattoon asennettuna ja samassa tilassa säteilypaneelin alla pöytä sekä pöydän alla lattiapinta. Oletetaan, että säteilypaneeli on lämpimämpi kuin pöytä ja lattia. Säteilypaneeli säteilee lämpöä alla olevaan puiseen pöytään, jolla on taulukon 1 mukaan suuri

emissiivisyys. Pöytä vastaanottaa säteilylämmön ja pöydän lämpötila kohoaa. Kun pöydän lämpötila nousee suuremmaksi kuin lattian, alkaa pöytä säteillä vuorostaan lattiaan lämpöä, jolloin lattian lämpötila kohoaa. Pienet katvealueet eivät vaikuta merkittävästi ilman lämpötilan paikallisiin eroihin, sillä ilma kiertää sen verran lämpötilaerojen vuoksi, että lämpö siirtyy ilman välityksellä katvealueille. (1, s. 10.)

Käytettäessä säteilypaneeleja jäähdytykseen tulee huomioida kosteusongelmat. Säteilypaneelilla ei ole kondenssiviemärintiä, jolloin kosteuden kondensoituminen paneelin pintaan pitää välttää. Jotta paneelia voidaan käyttää täydellä teholla jäähdytykseen, pitää ilman olla riittävän kuivaa, joten jo ilmanvaihdossa tulee olla jäähdytys. Lisäksi vaikka tuloilma olisi kuivaa, on ikkunat pidettävä kiinni, sillä kesäisin ulkoilma on niin kostea, että ikkunan ollessa auki kosteutta pääsee tilaan riittävästi kondensoituakseen paneelin pintaan. (5) Kuvassa 6 on kuvattu ilman entalpialle turvallista raja-arvoa jäähdytysveden lämpötilan suhteen, jotta kosteuden tiivistymiseltä paneelin pintaan vältytään.



Kuva 6. Raja-arvo ilman entalpialle jäähdytysveden lämpötilan suhteen.

3.2 Säteilypaneelityypit

Säteilypaneeleja on kahden tyyppisiä: yhden kiertopiirin ja kahden kiertopiirin paneeleja. Paneeleita, joissa on kaksi kiertopiiriä, voidaan käyttää lämmitykseen ja jäähdytykseen siten, että kummatkin järjestelmät voidaan mitoittaa ominansa. Kuvassa 7 on esitetty

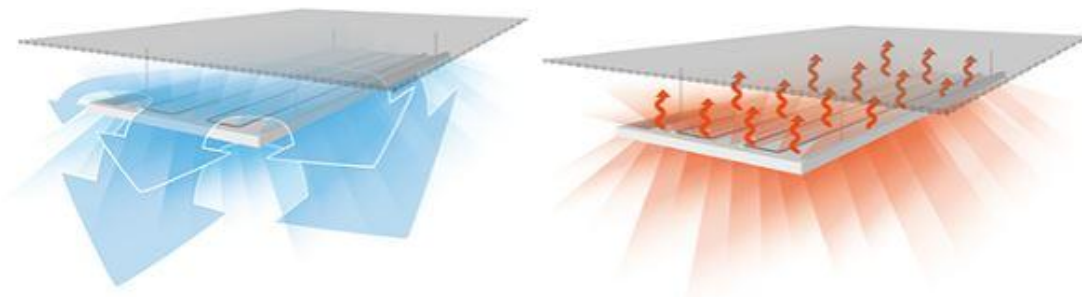
yhden kiertopiirin paneeli. Jos taas paneelissa on yksi kiertopiiri ja sillä halutaan lämmit-
tää ja jäähdyttää, pitää paneelin yhteydessä käyttää joko 6-tieventtiiliä tai useaa kaksi-
tieventtiiliä, jotka mahdollistavat saman kiertopiirin käytön lämmitykseen ja jäähdytyk-
seen. 6-tieventtiili noudattaa niin sanotun change over -järjestelmän periaatteita. Change
over -järjestelmä pystytään myös toteuttamaan niin, että koko järjestelmässä on ainoas-
taan yksi putkisto, johon tarpeen mukaan vaihdetaan kiertämään joko jäähdytys- tai läm-
mitysneste. Tämän kaltainen change over -järjestelmä ei ole kovin yleinen Suomessa,
sillä keväisin saattavat jäähdytys- ja lämmitystilanteet vaihdella useinkin varsinkin, jos
rakennuksessa on paljon ikkuna-alaa. Kevätaurinko saattaa lämmittää tilat hyvinkin läm-
pimäksi ja kun auringon säteily vähenee, on ulkoilma kuitenkin edelleen kylmää. Asuin-
rakennuksissa change over -järjestelmä on käyttökelpoinen, koska lämmitys- ja jäähdy-
tyskaudet on määriteltä tarkkaan ja jäähdytystilanteeseen siirytään vasta hyvin korkeilla
lämpötiloilla.



Kuva 7. Säteilylämmityspaneeli (11).

Paneelit voidaan asentaa vapaasti roikkumaan katosta tai integroida alakattoon. Usein
alakattoon asennettavat säteilypaneelit ovat hyvin huomaamattomia, koska ne on tehty
normaalin alakattopaneelin näköiseksi tai joissakin tapauksissa koko alakatto saatetaan
tehdä säteilypaneelistä. Paneeleihin saa myös perforoinnin eli rei'ityksen, joka vaikuttaa
luonnollisesti ulkonäköön. Perforointi voi lisätä hieman paneelin tehoa, kun ilma pääsee
virtaamaan paneelin läpi, mutta tehonlisäys ei ole ainakaan lämmitystilanteessa oleske-
lutilan kannalta merkittävä sillä ilma, joka paneelin läpi kulkee, lämpenee ja nousee tilan
kattoon. Jäähdytystilanteessa perforointi päästää paneelin päältä ilmaa alas jäähdyttäen

sitä matkalla, joka lisää hieman konvektiona siirtyvää lämpöä. (6) Kuvassa 8 on esitetty perforoinnin vaikutus lämmitys- ja jäähdytystilanteissa.



Kuva 8. Perforoidun paneelin vaikutus jäähdytys- ja lämmitystilanteissa (6).

Paneelien koot ovat valmistajakohtaisia ja niitä saa tilattua mittatilauksenakin, mutta normaalisti koot liikkuvat leveydeltään välillä 400–1 200 mm ja pituudeltaan välillä 1 000–5 000 mm. Yleisin leveys on 600 mm ja pituus 3 000 mm.

Paneelien kytkentämahdollisuuksia on valmistajakohtaisesti monia. Pääsääntöisesti paneelista lähtevät Cu10-kupariputket ulos, mutta valmistajilla on liitosnippoja, joiden avulla pään saa halutessaan esimerkiksi kierteiseksi. Joillakin valmistajilla on myös tarjolla joustavia liitosputkia pikakiinnityksillä, jotka nopeuttavat ja helpottavat asennusta ja huoltoa.

3.3 Käyttökohteet

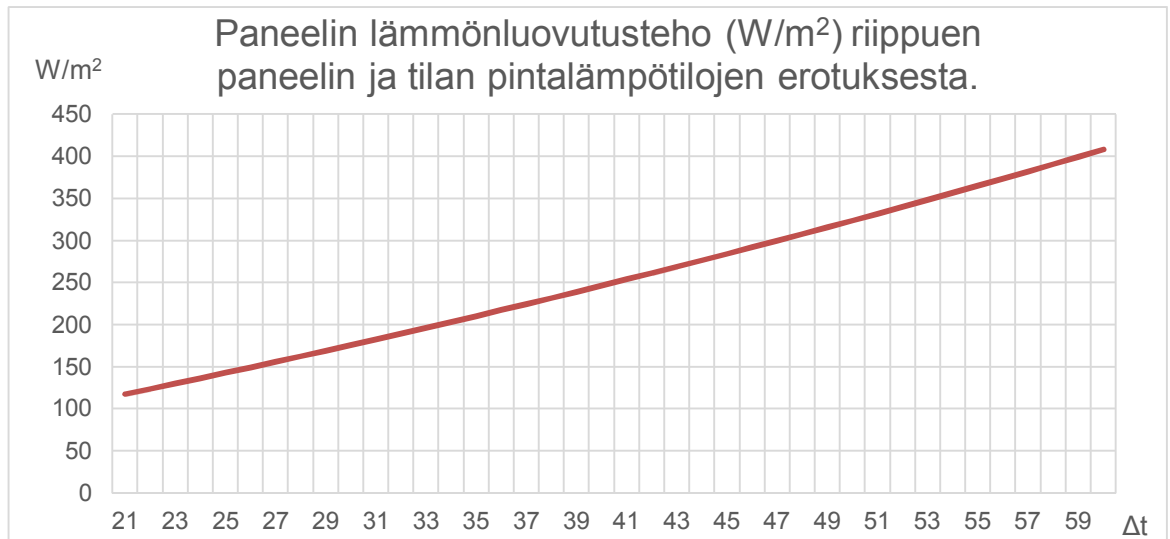
Säteilypaneelleja voi periaatteessa käyttää missä vain, mutta yleisimpiä käyttökohteita ovat tilat, joissa ilmatilaa on paljon ja näin ollen tavanomaiset konvektiota hyödyntävät lämmitystavat hukkaavat energiaa ilmatilaan, joka ei oleskeluvyöhykkeeseen kuulu. Tavanomaisia rakennuksia, joissa säteilypaneelleja on jo paljon käytössä, ovat erilaiset varastohallit, urheiluhallit, teollisuushallit ja logistiikkakeskukset tai muut sellaiset tilat, joissa tilan korkeus on suuri ja säteilypaneelin hyödyt nousevat esiin. Säteilypaneelit nostavat suosiotaan myös sairaala- ja asuntokohteissa. Paneelin asennuskorkeus voi pääsääntöisesti olla rakennuksen katon korkeus, mutta jos katto on matalalla tai tilassa tehdään seisomatyötä, tulee paneelin pintalämpötila ja etäisyys huomioida, jotta lämpötila ei nouse liian suureksi oleskeluvyöhykkeellä (1, s. 9).

4 Säteilypaneelien suunnittelu

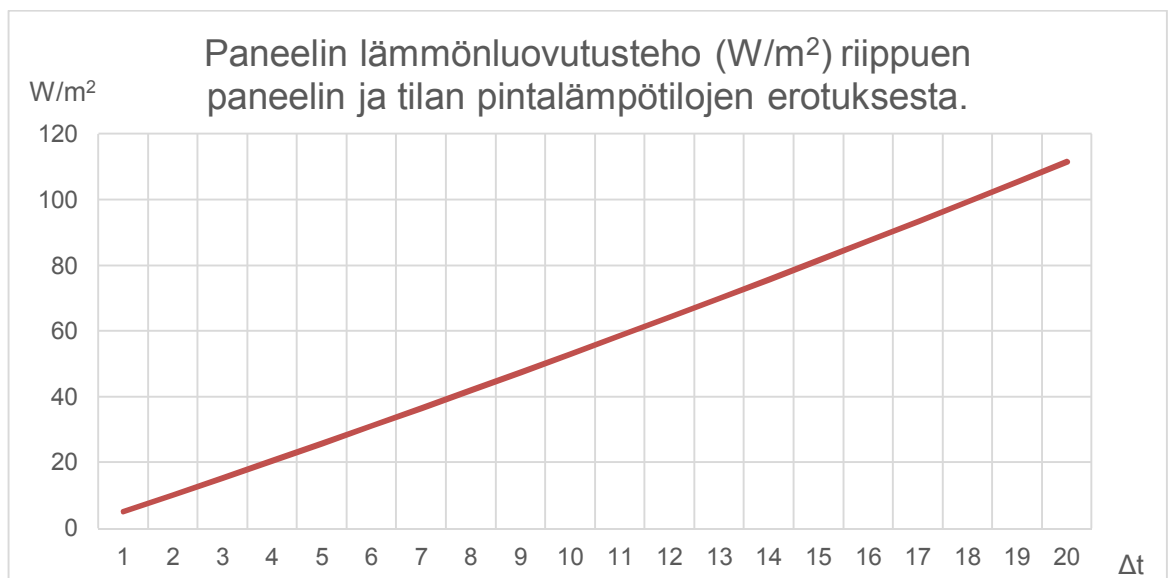
4.1 Paneelin mitoitus

Paneelin mitoitus alkaa tehontarpeen laskennasta. Tulee selvittää jokaisen tilan tehontarve niin jäähdytyksen kuin lämmityksen osalta. Jäähdytyksen tehontarpeen laskennassa tulee huomioida ikkunoiden suunta auringonsäteilyn takia. Kun tehontarpeet on laskettu, voidaan tiloihin mitoittaa paneeleja. Jos paneeleja käytetään jäähdytykseen ja lämmitykseen, ne mitoitetaan jäähdytystilanteen mukaan. Jäähdytysteho paneelissa on huomattavasti pienempi kuin lämmitys, joten jos paneeli riittää tilan jäähdytykseen, se riittää yleensä myös lämmitykseen. Säteilypaneelit voivat olla melko näkyvä elementti tilassa, joten sen ulkonäöstä ja asennustavasta sovitaan yhdessä arkkitehdin ja tilaajan tai käyttäjän kanssa. Paneelien valinnasta ja asennustavasta kannattaakin tehdä eri vaihtoehtoja ehdotettavaksi, joista arkkitehti voi valita tilaan sopivimman vaihtoehdon.

Säteilypaneelien mitoitukseen laitevalmistajilla on omat kaaviot, joista selvitetään tehontarpeen mukaan riittävä lämpötilaero ja virtaama. Kaaviot perustuvat säteilylämpövirran kaavaan, joka on esitetty kaavassa 1. Kaavassa käytetään yleisten rakennusmateriaalien pintojen emissiivisyyksiä ja saadaan näin keskimääräinen säteilylämpövirta määrätyille lämpötilaeroille. Yhtenäistä kuvaajaa säteilypaneelin menoveden ja huonelämpötilan erotuksen suhteelle säteilytehoon ei voida määrittää, sillä kunkin laitevalmistajan paneelit ovat hieman erilaisia ja niiden lämmönsiirtokyky kiertävästä nesteestä paneelin ulkopintaan on erilainen. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty säteilypaneelin pinnan ja tilojen pintojen erotuksen suhde säteilytehoon keskimääräisillä rakennusmateriaalien emissiivisyyksillä ja säteilypaneelin pinnan emissiivisyydellä. Kun säteilyteho on määritetty, valitaan tilaan sopiva paneeli tehontarpeen mukaan.



Kuva 9. Paneelin lämmönluovutusteho (W/m^2) riippuen paneelin ja tilan pintalämpötilojen erotuksesta suurilla lämpötilaeroilla.



Kuva 10. Paneelin lämmönluovutusteho (W/m^2) riippuen paneelin ja tilan pintalämpötilojen erotuksesta pienillä lämpötilaeroilla.

Säteilypaneelin teho riippuu ainoastaan pinnan lämpötilasta ja alasta. Jos paneeli asennetaan vapaasti roikkuvaksi kattoon, osa lämmönsiirtonesteen tehosta kohdistuu säteilyynä ja konvektiona myös ylös kattoa kohti. Tätä voidaan vähentää eristämällä paneelin yläpinta. Kun paneeli jäähdyttää, yläpuolinen huoneilma jäähtyy säteilyn vaikutuksesta ja valuu alas paneelin reunojen yli siirtäen energiaa konvektiolla paneeliin, ja kun paneeli lämmittää, lämpö nousee ja kerrostuu paneelin päälle. Jos paneeli integroidaan alakat-

toon, lämmitystilanteessa ylöspäin kohdistuva energia lämmittää alakattotilan suunnilleen saman lämpöiseksi kuin paneelin pinta on ja tämän jälkeen energiaa ei enää kohdistu ylöspäin. Jäähdytystilanteessa paneeliin säteilee lämpöä yläpuolelta, mutta konvektion osuus jää pois, kun ilma ei pääse virtaamaan paneelin pinnassa. Jos säteilijä on rei'itetty ja eristämätön sen jäähdytysteho paranee, kun ilma pääsee valumaan paneelin läpi. (6)

4.2 Putkiston mitoitus

Putkiston mitoitus kannattaa aloittaa lämmönjakohuoneesta ja edetä kohti säteilypaneelleja. Runkolinjoihin kannattaa jättää varaa mahdollisille muutoksille ja laajennuksille. Putkiston mitoituksessa noudatetaan samoja periaatteita kuin muissakin lämmitysjärjestelmien putkituksissa.

4.2.1 Turbulenttisuus

Säteilypaneelien suunnittelussa oleellista ja haastavaa on kiertävän nesteen turbulenttisuuden säilyttäminen. Jotta paneelista saadaan paras mahdollinen lämmönsiirtoteho, tulee kiertävän nesteen olla jatkuvasti turbulenttisuudessa virtauksessa. Paneeleissa tämä on huomioitu kiertopiirin pienenä putkikokona, joka helpottaa nesteen turbulenttisuuden säilyttämistä myös vaikeammilla virtausreiteillä.

Turbulenttinen virtaus voidaan määritellä Reynoldsin luvulla. Reynoldsin luku lasketaan pyöreälle putkelle kaavasta

$$Re = \frac{v \cdot d_s}{\nu}, \text{ jossa} \quad [5]$$

Re on Reynoldsin luku

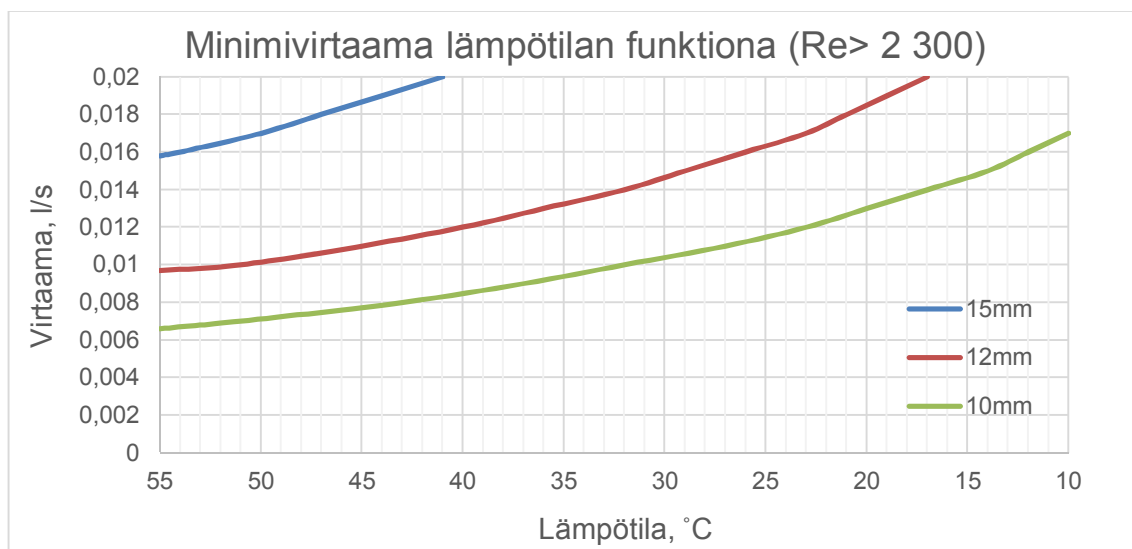
v on virtaavan aineen keskimääräinen nopeus, m/s

d_s on pyöreän putken sisähalkaisija, m

ν on virtaavan aineen kinemaattinen viskositeetti, m²/s

Kun Reynoldsin luku on pienempi kuin 2 300, virtaus on aina laminaarista ja kun luku on yli 4 000, virtaus on aina turbulenttista. Siirtymäalueella 2 300–4 000 virtaus on epämaa-

räistä, eli se voi olla laminaarista, mutta muuttuu pienestä häiriötekijästä, esimerkiksi tä-
rinästä, välittömästi turbulenttiseksi. Kinemaattiseen viskositeettiin vaikuttaa aineen läm-
pötila. Kuvassa 11 on määritetty veden minimivirtaama suhteessa lämpötilaan turbulent-
tisen virtauksen saavuttamiseksi Cu10-, Cu12- ja Cu15-putkilla.

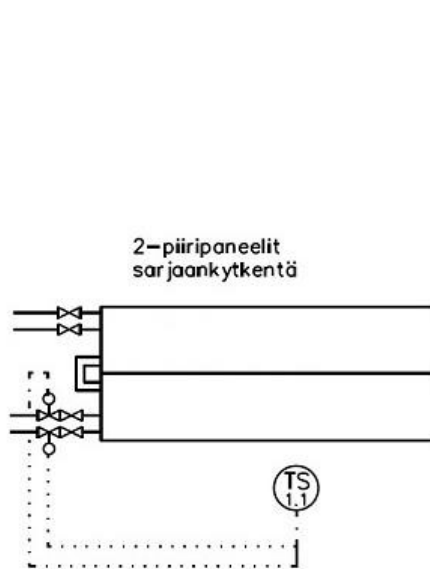


Kuva 11. Veden minimivirtaama 10 mm:n, 12 mm:n ja 15 mm:n kupariputkessa lämpötilan funk-
tiona ($Re > 2\,300$).

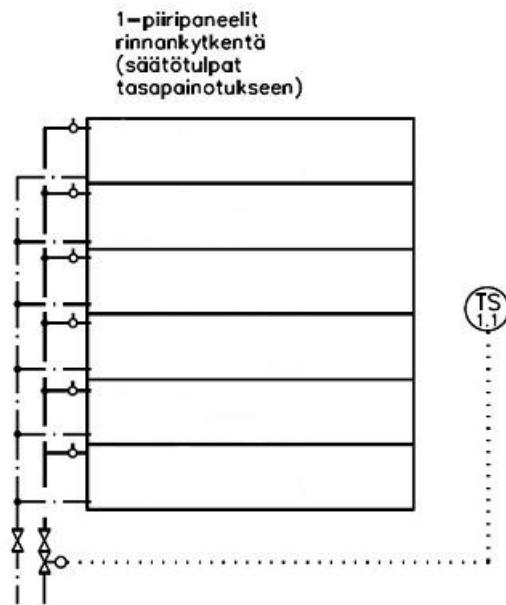
4.2.2 Säätoryhmät

Paneelien säätö voidaan toteuttaa tilojen vaatimalla tavalla. Jos tiloja halutaan säätää erikseen, voidaan paneelit ryhmitellä tiloittain säätoryhmiin. Ryhmät kytketään lähtökoh-
taisesti keskenään rinnan, mutta ryhmien sisällä voidaan kytkeä paneeleja sarjaan tai
rinnan. Rinnankytkentä on yleisempi tapa, mutta sarjaan kytkentä on hyvä tilanteissa,
joissa tehontarve on pieni ja näin ollen turbulentsisuuden säilyttämiseksi tarvitaan enem-
män virtaamaa. Sarjaankytkentää voidaan myös käyttää, jos tila on pitkä ja putkitus ha-
lutaan tehdä ainoastaan toisesta päästä tilaa. Tällöin säätoryhmä voidaan kytkeä sarjaan
pitkäksi jonoksi paneeleja ja säästetään putkimetrejä. Sarjaan kytkennässä tulee huomi-
oida veden lämpötilan putoamisen aiheuttama tehoepätasapaino paneelien välillä. Li-
säksi painehäviö voi nousta korkeaksi, jos paneeleja asetetaan monta peräkkäin, koska
paneeleja lisättäessä myös virtaamaa pitää kasvattaa. Kun veden lämpötila muuttuu,
muuttuu myös veden viskositeetti ja turbulentsisuuden säilyminen pitää tarkastaa. Ryh-
missä voidaan myös käyttää käännettä paluuta, jolloin ryhmän paneelit ovat hydrauli-
sessa tasapainossa keskenään ja paneeleille ei tarvitse erillisiä kertosäätöventtiilejä ta-
sapainotukseen. Käännettyssä paluussa putkimetrejä menee hieman enemmän, mutta

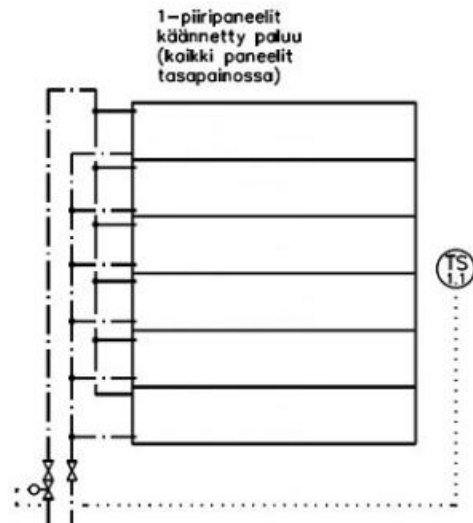
säätöryhmän tasapainotukseen normaalisti tarvittavien kertasäätöventtiilien säästöt ovat suuremmat. Eri kytkentätavat on esitetty kuvissa 12, 13 ja 14. (5)



Kuva 12. Sarjaankytkentä (5).



Kuva 13. Rinnankytkentä (5).



Kuva 14. Käännetty paluu (5).

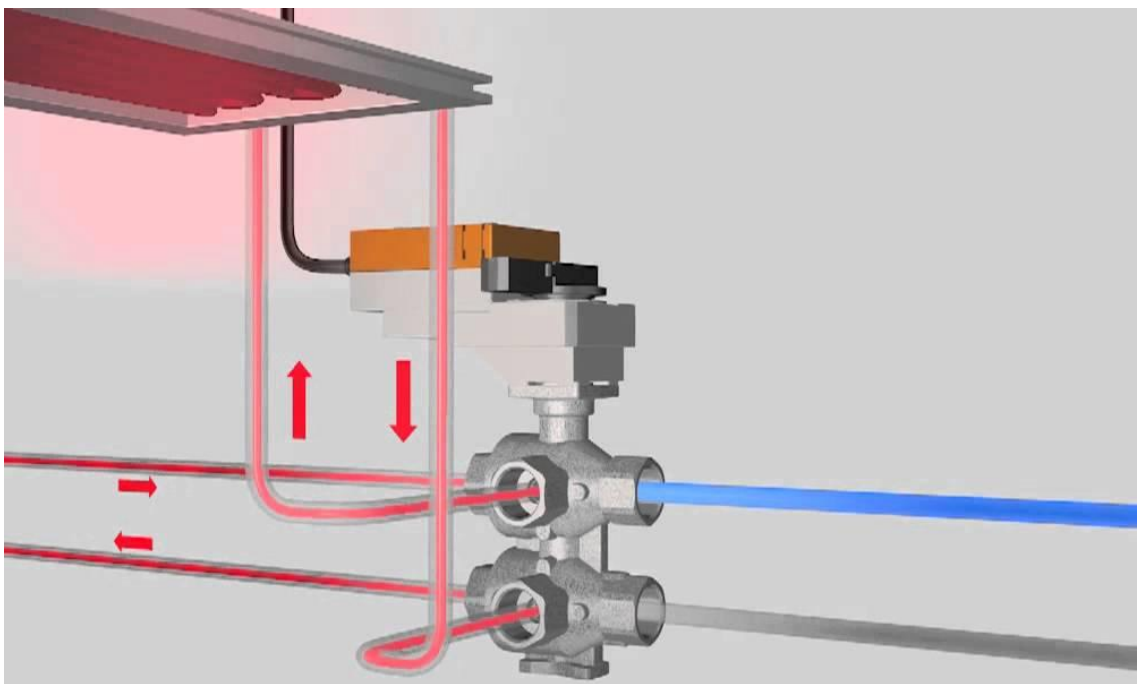
4.2.3 Säästöventtiilit

Säteilypaneelijärjestelmä säädetään lämmitysjärjestelmän perussäädön mukaisesti. Huonekohtainen säätö esimerkiksi patteriverkostossa tapahtuu patteriventtiilistä, mutta säteilypaneeliverkostossa paneelit säädetään ryhmissä. Säteilypaneeleissa huone- tai ryhmäkohtainen säätö tapahtuu säästöventtiilillä, jota ohjaa huonekohtainen lämpötila-anturi sekä mahdollisesti huonekohtainen poikkeutin. Automatiikka pitää huolen, että kun lämmitystarpeesta siirrytään jäähdytystarpeeseen ja päinvastoin, venttiilit sulkeutuvat ja avautuvat tasaisesti, eikä esimerkiksi jäähdytys- ja lämmitysvesi virtaa samaan aikaan paneelissa ja kuluta toistensa tehoa tai sekoita nesteitä. Paneelit tasapainotetaan kertasäästöventtiilein jokaiselta paneelilta ja säätötilanteessa asetetaan venttiileille alustavat esisäästöarvot. Säästöventtiilit lukitaan täysin auki ja kaikkien linjasäästöventtiilien ja paneelien kertasäästöventtiilien virtaamat tarkastetaan ja säädetään oikeiksi.

Tavallisin säätötapa säteilypaneelille on 2-tie-moottoriventtiili. Säteilypaneeli, joka jäähdyttää ja lämmittää yhdellä kiertopiirillä, voidaan säätää helpoiten 6-tieventtiilillä, joka säätää yhdellä säätökaralla meno- ja paluuvettä. 6-tieventtiili koostuu siis kahdesta kolmiaukkoisesta venttiilistä, jotka toimivat kuten 2-tieventtiilit, mutta vain toiselle järjestelmälle kerrallaan. Lämmitys- ja jäähdytyspuolen menot menevät siis toiseen venttiileistä ja paluut toiseen. Leikkauskuva venttiilistä on esitetty kuvassa 15. Säästökara ohjaa palloventtiiliä siten, että se päästää vain toisen järjestelmän vettä virtaamaan venttiilistä läpi kuten kuvassa 16. Kahden venttiilin virtaukset eivät ole mekaanisesti yhteydessä toisiinsa. 6-tieventtiili tarvitsee ainoastaan yhden toimilaitteen ja näin ollen vain yhden automaatiopisteen valvonta-alakeskukseen. Lisäksi 6-tieventtiilin mekaniikka pitää huolen, että jäähdytys- ja lämmitysvedet eivät kierrä samaan aikaan paneelissa. 6-tieventtiiliin saa myös paineesta riippumattoman kertasäästöventtiilin integroituna. Paineesta riippumaton 6-tieventtiili on esitetty kuvassa 17 ja sen kytkentä kuvassa 18. Vapaasti roikkuvassa paneelissa 6-tieventtiili saattaa olla esteettinen haitta suuren kokonsa ja asennustapansa vuoksi.



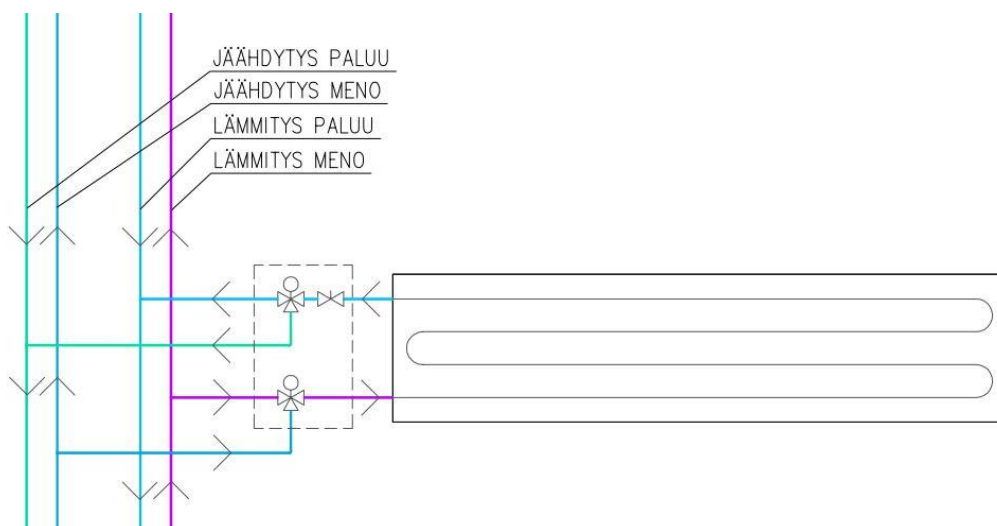
Kuva 15. 6-tieventtiilin rakenne (7).



Kuva 16. 6-tieventtiili lämmitystilanteessa.



Kuva 17. Paineesta riippumaton 6-tieventtiili (8, s. 1).



Kuva 18. Paineesta riippumattoman 6-tieventtiilin kytkentä.

Säätöventtiilit mitoitetaan aina maksimiteholle eli tilan maksimitehontarpeelle, joka harvoin on todellinen. Kun säätöventtiili sulkeutuu huoneen lämpötilan muuttuessa, verkostossa oleva paine kasvaa ja paine siirtyy sulkeutuvasta venttiilistä muihin venttiileihin. Jotta vaikutus ei olisi niin suuri, tulisi säätöventtiiliä mitoittaessa huomioida riittävä auktoriteetti venttiilille. Auktoriteetti kuvaa venttiilin painehäviön riittävää suuruutta verkoston painehäviöön nähden. Jos auktoriteetti jää pieneksi, painevaihtelut vaikuttavat enemmän venttiilin läpi kulkevaan virtaamaan ja saattaa alkaa huojuttaa säätöä. Säteilypaneeliverkostoissa virtaamat ovat suhteellisen pienet, joten hyvän auktoriteetin saavuttaminen voi olla tässä tapauksessa hankalaa. Vesikiertoisten säteilypaneelien tehot ovat sen verran

pieniä, että tarkalle säädölle harvoin on edes tarvetta ja näin ollen auktoriteetti ei ole välttämättä oltava yleisen suositusarvon 0,5 mukainen. Lisäksi säteilypaneelin teho on verrattain pieni, joten venttiilin huojunta on epätavallista ja ihminen ei pieniä lämpötilamuutoksia juurikaan huomaa, vaikka venttiili toimisikin epätasaisesti. Käytännössä säteilypaneeliin riittäisi kaksiasentoinen venttiili, joka olisi auki tai kiinni, mutta tavanomainen säätöventtiili helpottaa verkostotasapainoa ja suunnittelussa on aina hyvä lähteä siitä, että se tehdään parhaalla mahdollisella tavalla.

Paineesta riippumattomat säätöventtiilit helpottavat verkoston toimintaa entisestään, sillä paineesta riippumatonta venttiiliä käytettäessä verkosto on käyttötilanteessa aina tasapainossa riippumatta kuormitusasteesta. Paineesta riippumaton venttiili toimii kertasäätöventtiilin ja säätöventtiilin yhdistelmänä ja pitää virtauksen samana huolimatta paineesta. Verkosto siis on tasapainotettu ja jonkin säätöryhmän säätöventtiili sulkeutuu ja näin ollen paine kasvaa muissa venttiileissä, pysyy paineesta riippumattoman venttiilin virtausmäärä samana huolimatta paineenkorotuksesta. Lisäksi paineesta riippumattomat venttiilit voidaan optimoida järjestelmän pumpun kanssa toimimaan yhdessä. Tämä ratkaisu säästää energiaa normaaliin kertasäätöiseen tasapainotukseen verrattuna, kun paineenkorotus, muuttuu aina paineen tarpeen mukaan. Paineesta riippumattomat venttiilit on edistynein ja paras tapa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän toteutukseen, mutta laitteiden hinta ja takaisinmaksuaika epäilyttää usein ratkaisua pohtiessa.

Säädön voi myös toteuttaa pumppuryhmillä eli kolmitieventtiilillä ja pumpulla, jolloin paneelit ryhmitellään pumppuryhmiin ja virtaus sekä paine pysyy ryhmien sisällä vakiona. Ryhmien tehontarvetta säädetään kolmitieventtiilillä. Pumppuryhmässä säädettävyyden on hyvä tasolla, mutta vastaavasti siinä on enemmän laitteita ja jokainen säätöyksikkö on oma huoltokohteensa. (5)

4.2.4 Kastepisteautomaatiikka

Säteilyjäähdytyspaneelit ovat niin sanottuja kuivan järjestelmän jäähdytyslaitteita. Toisin sanoen niiden tarkoitus on jäähdyttää ilman, että ympäröivästä ilmasta kondensoituu vettä jäähdyttimen pintaan. Laitteet kuten puhallinkonvektori jäähdyttää ilmaa laitteen sisällä ja tiputtaa kondensoituneen kosteuden kaukaloon, josta se johdetaan viemäriin. Säteilypaneeleissa tälle ei ole mahdollisuutta, koska jäähdyttävän pinnan alla on oleskelutila ja näiden väliin on mahdoton asentaa kosteutta keräävää viemäröintiä. Tästä

syystä säteilyjäähdytyksessä pitää aina olla kastepisteautomaatiikka. Kastepisteautomaatiikan voi toteuttaa kahdella tavalla. Verkoston herkimmin kostuvaan putkiosuuteen kytetään kosteushälytin, joka ilmoittaa automaatiikalle putken pinnassa havaittavissa olevasta kosteudesta. Kun automaatiikka saa hälytyksen, se sulkee jäähdytyksen säätöventtiilin ja avaa sen vasta, kun hälytin on antanut signaalin että kosteutta ei enää ole. Toinen vaihtoehto on, että joihinkin tiloihin asennetaan kosteusanturi lämpötila-anturin lisäksi ja näistä olosuhdetiedoista automaatiikka ennakoii kastepistettä säätämällä jäähdytyksen menoveden lämpötilaa. (9)

5 Case-tarkastelu

Otetaan tarkasteluun esimerkkinä toimiva toimistotila, johon mitoitetaan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä säteilypaneeleja käyttäen. Esimerkkitalo on tavanomainen toimistotila, johon sisältyy neljä toimistohuonetta sekä taukotila.

5.1 Tehontarvelaskenta

Lasketaan tilojen lämmitys- ja jäähdytystehon tarve tilakohtaisesti dynaamisella simulointiohjelmalla kuten RIUSKalla tai IDA ICElla. Esimerkkitalolle lasketut tehontarpeet näkyvät kuvasta 21.

5.2 Paneelien mitoitus

Kun tehontarve on määritetty jokaiselle tilalle, mitoitetaan sopivan kokoiset paneelit tiloihin. Paneeli mitoitetaan valmistajan määrittämän taulukon mukaan. Kuvissa 19 ja 20 on erään valmistajan mitoitus- ja jäähdytystilanteelle.

LÄMMITYSTEHOTAUUKKO W						
LT-ERO	° C	595x590	595x1190	595x1790	595x2390	595x2990
ΔT=+	10	44	88	133	178	223
ΔT=+	11	49	98	148	199	248
ΔT=+	12	55	108	164	220	275
ΔT=+	13	60	119	179	241	301
ΔT=+	14	65	129	195	262	328
ΔT=+	15	71	140	212	284	355
ΔT=+	16	76	151	228	306	383
ΔT=+	17	82	162	245	328	410
ΔT=+	18	87	173	261	350	438
ΔT=+	19	93	184	278	373	467
ΔT=+	20	99	195	295	396	495
ΔT=+	21	104	206	312	419	524
ΔT=+	22	110	217	329	442	553
ΔT=+	23	116	229	347	465	582
ΔT=+	24	122	240	364	488	611
ΔT=+	25	127	252	382	512	641
ΔT=+	26	133	264	399	536	670
ΔT=+	27	139	275	417	560	700
ΔT=+	28	145	287	435	584	730
ΔT=+	29	151	299	453	608	760
ΔT=+	30	157	311	471	632	791
ΔT=+	32	170	335	508	681	852
ΔT=+	34	182	359	544	730	913
ΔT=+	36	194	384	581	780	976
ΔT=+	38	207	409	619	830	1039
ΔT=+	40	219	434	657	881	1102
ΔT=+	41	226	446	676	906	1134
ΔT=+	42	232	459	695	932	1166
ΔT=+	43	238	471	714	957	1198
ΔT=+	44	245	484	733	983	1230
ΔT=+	45	251	497	752	1009	1262
ΔT=+	46	258	509	771	1035	1295
ΔT=+	47	264	522	791	1061	1327
ΔT=+	48	271	535	810	1087	1360
ΔT=+	49	277	548	830	1113	1393
ΔT=+	50	284	561	849	1139	1426

Kuva 19. Erään säteilypaneelin lämmitystehot koon ja yllämmön mukaan (10).

JÄÄHDYTYSTEHOAULUKKO						
W						
LT-ERO	° C	595x590	595x1190	595x1790	595x2390	595x2990
ΔT=-	5	21	42	63	84	106
ΔT=-	6	26	53	79	105	131
ΔT=-	7	32	63	95	126	158
ΔT=-	8	37	74	111	148	186
ΔT=-	9	43	85	128	171	214
ΔT=-	10	48	97	145	194	242
ΔT=-	11	54	109	163	217	272
ΔT=-	12	60	121	181	241	302
ΔT=-	13	66	133	199	266	332
ΔT=-	15	79	158	237	316	394

Kuva 20. Erään säteilypaneelin jäähdytystehot koon ja ylälämmön mukaan (10).

Taulukosta valitaan paneelikoko lämpötilaeron mukaan, joka kyseisessä taulukossa on

$$\Delta T = \frac{(t_p + t_m)}{2} - t_i, \text{ jossa} \quad [6]$$

t_p on lämpötila verkoston paluupuoella, °C

t_m on lämpötila verkoston menopuoella, °C

t_i on huoneen mitoituslämpötila, °C

Jäähdytystilanteen ΔT :

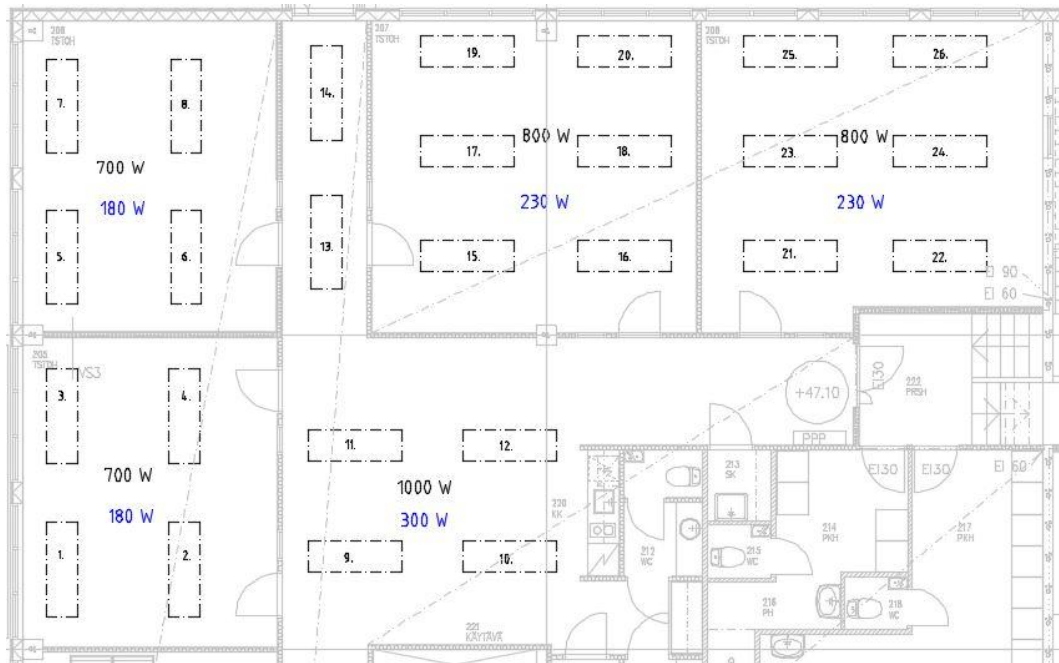
$$\Delta T = \frac{(17+15)}{2} - 21 = -5 \text{ °C} \quad [7]$$

Lämmitystilanteen ΔT :

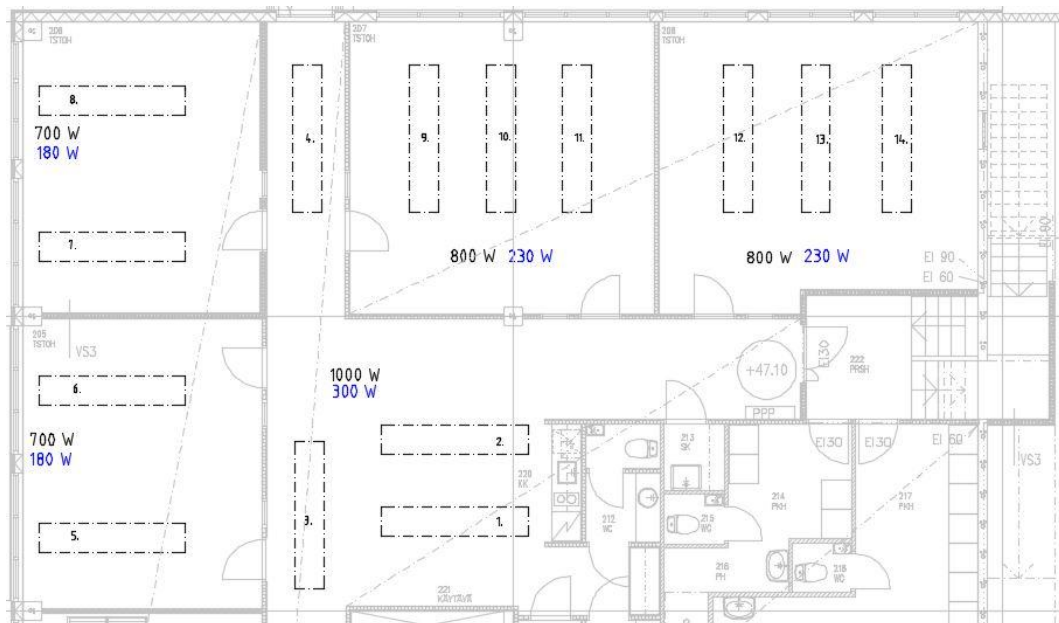
$$\Delta T = \frac{(45+30)}{2} - 21 = 16,5 \text{ °C} \quad [8]$$

Taulukosta valitaan sopivan kokoisia paneeleja sopiva määrä ja asetetaan ne kuvaan. Paneelien asettelusta ja koon valinnasta kannattaa tehdä erilaisia vaihtoehtoja esitettäväksi arkkitehdille, joka usein päättää mitä variaatiota käytetään. Kuvissa 21 ja 22 on esitetty esimerkkitilaa kaksi erilaista vaihtoehtoa paneelien koosta ja sijoittelusta. Kuvassa 21 on valittu pienemmät paneelit (595 mm * 1 790 mm), jonka paneelikohtainen

teho jäähdytyksessä on 63 W ja lämmityksessä 228 W. Kuvassa 22 on pidemmät paneelit (595 mm * 2990 mm), joiden teho on jäähdytyksessä 106 W ja lämmityksessä 383 W. Paneelit pitää sijoitella niin, että paneelin lämmityskeila kattaa ikkunapinnan. Tehdään putkiston laskelmat kuvan 22 suurempien paneelien mukaan.



Kuva 21. Esimerkkitila pienemmillä paneeleilla.



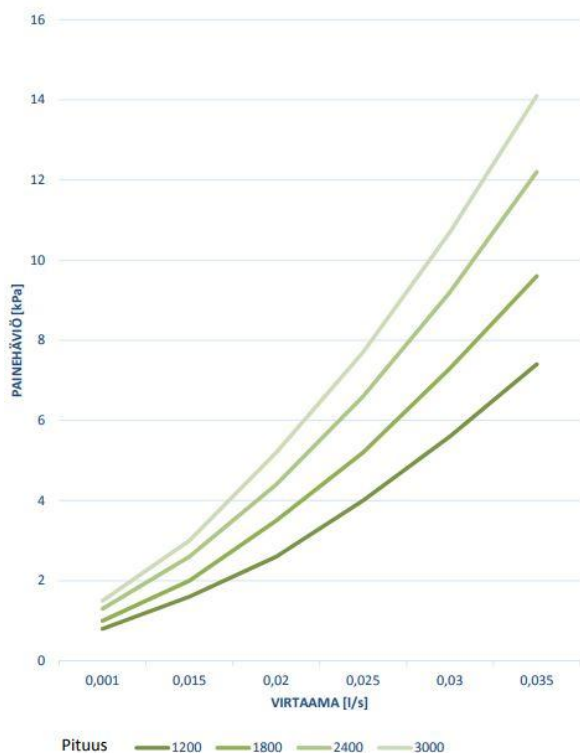
Kuva 22. Esimerkkitila suuremmilla paneeleilla.

5.3 Virtaama

Lasketaan tehon mukainen virtaama jäähdytys- ja lämmitysnesteelle. Virtaaman turbulenttisuus Cu10 kupariputkelle tarkastetaan turbulenttisuuden säilyttämisen kaaviosta kuvasta 11. Jos virtaama ei riitä turbulenttisuuden säilyttämiseen, kannattaa lämpötilaeroa pienentää. Virtaama tulisi olla maksimiteholla riittävästi yli turbulenttisuuden rajan sillä, jos virtaaman valitaan vain maksimiteholla turbulenttiseksi, teho romahtaa, kun virtaamaa vähennetään ja virtaus muuttuu laminaariseksi. Virtaamaa ei kuitenkaan kannata ylimitoittaa liikaa, sillä painehäviö nousee helposti todella suureksi, eikä virtaaman suurentaminen lisää paneelin tehoa. Lasketaan esimerkkitalan jäähdytysverkosto 15/17 °C:n lämpötilan mukaan ja lämmitys 45/30 °C:n mukaan. Jotta turbulenttisuus saavutetaan näillä lämpötiloilla, tulee virtaaman paneelissa olla jäähdytyksessä vähintään 0,018 l/s ja lämmityksessä 0,012 l/s. Varmuudeksi kannattaa mitoittaa virtaama hieman korkeammaksi, jotta turbulenttisuus varmasti säilyy osatehoilla, joten valitaan mitoitusseen virtaamaksi jäähdytykselle 0,02 l/s ja lämmitykselle 0,015 l/s.

5.4 Painehäviö

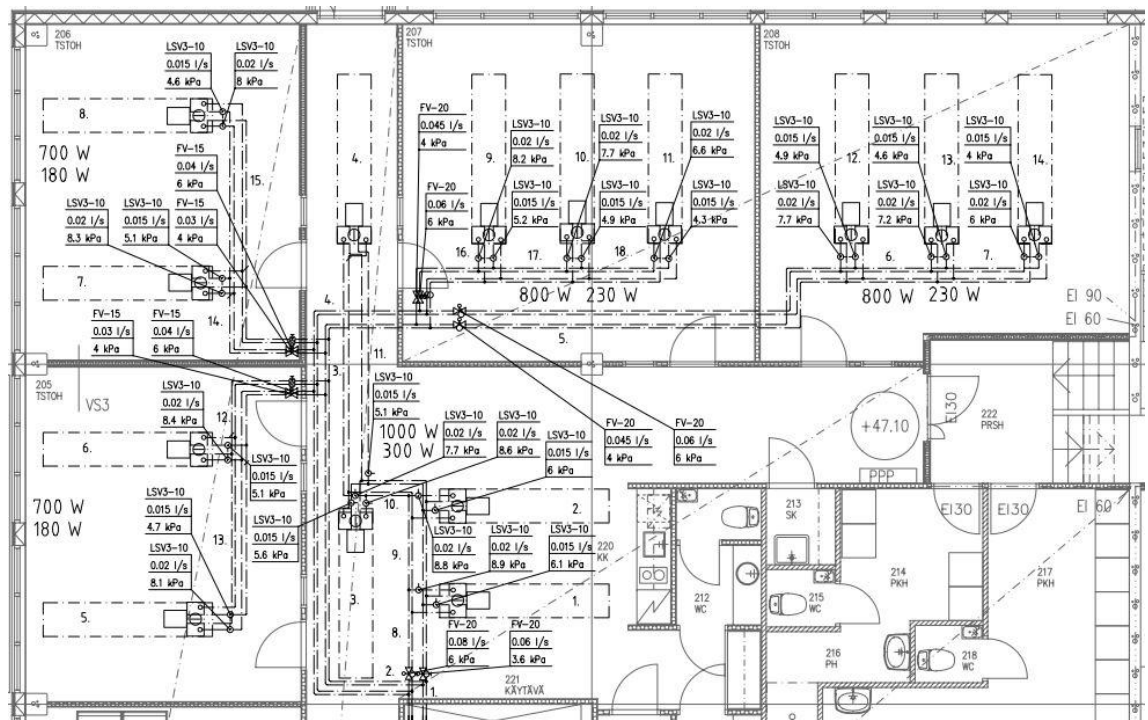
Paneelin painehäviö selvitetään laitevalmistajan kaaviosta maksimivirtaamalla valitun paneelin mukaan. Kuvassa 23 on erään paneelivalmistajan painehäviö paneelin pituuden ja virtaaman mukaan. 1 800 mm pitkän paneelin painehäviöksi tulee 0,02 l/s nopeudella 4,5 kPa.



Kuva 23. Erään säteilypaneelin painehäviö koon mukaan (10).

5.5 Putkiston tasapainotus

Putkiston mitoitus ennen putkireitit pitää mallintaa, jotta tiedetään kaikki painehäviötä aiheuttavat osat. Putkiston suunnittelussa on yleisesti suotavaa tehdä mahdollisimman paljon suoria linjoja, jotta vältetään ylimääräisiltä painehäviöiltä ja putkiston asennus on mahdollisimman vaivatonta. Kuvassa 24 on esitetty esimerkkitalan putkisto mallinnetuna.



Kuva 24. Esimerkkitalan säteilypaneelien putkitus mallinnettuna.

Putkisto tasapainotetaan kertasäätöventtiilein. Kertasäätöventtiileitä asennetaan jokaisen paneelin jälkeen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän paluuputkeen. Lisäksi, jos säätöryhmien välillä on suuria paine-eroja, voi säätöryhmille lisätä omat kertasäätöventtiilit. Kertasäätöventtiilit mitoitetaan sellaisille asetusarvoille, että jokaiselle paneelille johtavalle putkireitille muodostuu sama painehäviö.

MagiCadin balance-toiminto laskee kertasäätöventtiilien painehäviöt automaattisesti ja säätää venttiilit oikein, mutta venttiilin koot pitää määrittää itse. Putkiston painehäviöt voi myös laskea käsin hyödyntämällä kupariputken painehäviödiagrammia. Taulukossa 2 on putkiston tiedot putkiosuuden mukaan.

Taulukko 2. Putkiston painehäviölaskelma.

Putki- osa nro	Vir- taus l/s	d_s mm	v m/s	Pituus m	Kertavastus- lukujen summa	$\Delta p_{\text{yhteensä}}$ Pa
1	0,35	42	0,3	1	0,5	41
2	0,25	35	0,3	7,5	1,5	295
3	0,2	28	0,3	1	0,5	90
4	0,15	28	0,2	4	0,5	168
5	0,075	22	0,2	8	0,5	297
6	0,05	15	0,3	1,6	0,5	194
7	0,025	10	0,3	2	0,5	469
8	0,1	22	0,3	0,5	0,5	47
9	0,075	22	0,2	2	0,5	81
10	0,05	15	0,3	1,5	1,75	233
11	0,025	12	0,2	5	1,25	318
12	0,05	15	0,3	2	1,25	268
13	0,025	12	0,2	3	1,25	203
14	0,05	15	0,3	2	1,25	268
15	0,025	12	0,2	3	1,25	203
16	0,075	22	0,2	2	1,25	96
17	0,05	15	0,3	2	1,25	268
18	0,025	10	0,3	2	1,75	533

5.6 Säätö

Järjestelmän paneelit on jaettu säätöryhmiin, jotka esimerkkitapauksessa on huonetilojen mukaan jaettu. Jokaiselle toimistohuoneelle on oma säätöryhmä, kuten myös yleisille tiloille. Jokaiselle säätöryhmälle asetetaan oma säätöventtiili, joka säätelee paneeleille menevää vesivirtaa halutun tehon mukaan. Säätöventtiiliä ohjaa tila-anturi. Säätöventtiilille asetetaan painehäviö, joka määräytyy valitun säätöventtiilin säätökäyrästäön mukaan, ja tässä esimerkkitapauksessa venttiilin painehäviöksi tuli 6 kPa.

Säätöventtiilillä tulee olla riittävä auktoriteetti, jotta paineen muuttuessa virtaama ei muutu liikaa. Auktoriteetin pitäisi olla 0,5 tai enemmän. Auktoriteetti säätöventtiilille lasketaan säätöventtiilin painehäviön ja koko putkiston painehäviön mukaan:

$$\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{sv} + \Delta p_{muu \text{ säädettävä piiri}}}, \text{ jossa} \quad [9]$$

β	on venttiilin auktoriteetti
Δp_{sv}	on säätöventtiilin painehäviö
$\Delta p_{muu \text{ säädettävä piiri}}$	on koko putkiston painehäviö

MagiCad antaa putkiston jokaiselle osuudelle painehäviöarvoja ja näistä voi laskea venttiilin auktoriteetin. Sulkuventtiiliä edeltävästä putkiosuudesta selviää, kuinka paljon laskentaohjelma on mitoittanut tarpeelliseksi paineenkorotukseksi verkoston osalle ja se esitetään kuvassa 25. Paluupuolen paineen voi katsoa säätöventtiilin jälkeisestä putkiosuudesta, mutta se on usein niin pieni, että sillä ei ole laskennallista merkitystä. Esimerkkitallassa kunkin verkosto-osuuden kokonaispaineeksi on mitoitettu noin 19,9 kPa. Käsin laskennassa yhteen laskettu painehäviö putkiosuuksille 1–7 on 1,55 kPa. Se kerrotaan kahdella, jotta saadaan meno- ja paluuputkiston yhteenlaskettu painehäviö sekä lisätään verkosto-osan laitteiden painehäviöt; kertasäätöventtiilistä 6 kPa, paneelista 4,5 kPa ja säätöventtiilistä 6 kPa. Kokonaispainehäviö käsin laskennalla on 19,6 kPa. Jokaisella säteilypaneelilla on kertasäätöventtiili, joten painehäviöt eri putkisto-osuuksille on lähes samat. Kuten kuvassa 26, jokaisen säätöventtiilin tiedoista näkee, kuinka suuri venttiilin aiheuttama painehäviö on. Tässä tapauksessa se on itse määrittelemämme 6 kPa. Kaavalla 9 voi laskea venttiilin auktoriteetin. Tässä tapauksessa auktoriteetiksi tulee

$$\beta = \frac{6 \text{ kPa}}{19,9 \text{ kPa}} = 0,3 \quad [10]$$

Jos kyse olisi esimerkiksi lämmityskeskuksen kaukolämmön säätöventtiilistä, tämä auktoriteetti ei välttämättä riittäisi, mutta kun mitoitetaan pienillä virtaamilla toimiville lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmille säätöventtiiliä, ei ole tarkoituksenmukaista tavoitella yleistä auktoriteetin suositusarvoa. (11, s. 126.)

MagiCAD V&P - Part Properties

Property	Value
Part type	Pipe/supply
System	400J1-supply "Jäähdytys"
Storey	2. kerros
Top of part	H = 2811.0
Center of part	H = 2800.0
Bottom of part	H = 2789.0
Product	Cu "Kupariputki"
Material	Cu
Connection size	22
User field1 of series	1581020
Length	559 mm
Flow	0.0599 l/s
dptot	0.022 kPa
dptot/m	38.9 Pa/m
ptot	19.927 kPa
Velocity	0.19 m/s
Status	Not defined

LABELS

Description:

UserVar 1:

UserVar 2:

UserVar 3:

UserVar 4:

Object ID ☐ Override

Change Z... Change size... Change insulation... Change RI Ok Cancel

Kuva 25. Verkosto-osuuden paine ennen sulkuventtiiliä.

MagiCAD V&P - Part Properties

Property	Value
Part type	Zone valve
System	400J1-retum "Jäähdytys"
Storey	2. kerros
Center of part	H = 2800.0
Product	FV "DN20"
Manufacturer	Granlund
Connection size	20
Node number	53
Flow	0.0599 l/s
dptot	6 kPa
ptot	0.535 kPa
kv	0.88
Status	Not defined
Product variable	FV

FLOW

☐ Is a measuring valve

☒ Lock dp

6.000 kPa

LABELS

Description:

UserVar 1:

UserVar 2:

UserVar 3:

UserVar 4:

Object ID: ☐ Override

Properties... Size... Change RI Ok Cancel

Kuva 26. Sääteryhmän säätöventtiilin painehäviö.

6 Yhteenveto

Työssä laadittiin suunnitteluohje vesikiertoisten säteilypaneelien valintaan ja suunniteltuun jäähdytys- ja lämmityskäyttöön. Alussa selostettiin lämmönsiirrosta yleisesti ja sitä miten säteily lämmönsiirtotapana poikkeaa muista lämmönsiirtomuodoista. Työssä ohjeistettiin erilaisten paneelityyppien valinnassa ja sitä minkälaisia toimilaitteita ja järjestelmätyyppejä niiden yhteydessä on mahdollista käyttää. Lisäksi työssä käytiin läpi eri-

laisia mitoituksien ja käytön aikaisiin ongelmiin liittyviä huomioita. Lopussa esiteltiin esimerkkilaskenta toimistokerroksen säteilypaneelisuunnitteluun jäähdytys- ja lämmityskäyttöön kaksipiirisiä paneeleita hyödyntäen.

Säteilypaneelit ovat nostamassa suosiotaan, ja aiheesta on melko tuoreita artikkeleita sekä suunnitteluohjeistuksia uusien paneelimallien ominaisuuksien hyödyntämiseen, muun muassa perforoinnin ja asennustavan vaikutuksia säteilypaneelin tehoon. Työn lähteenäkin toimivat pääosin laitevalmistajien suunnitteluohjeet ja asiantuntemus sekä suunnittelijoiden omat kokemukset. Säteilypaneeleissa suunnitteluohjeelle on erityisesti tarvetta sen säädettävyyden haasteellisuuden vuoksi ja tässä työssä käydään läpi oleelliset huomiot suunnitteluun liittyen.

Lähteet

- 1 Kattolämmityksen opas. 2014. Verkkoaineisto. Lindab Oy. [<http://www.lindab.com/fi/Documents/Ilmastointi/esitteet%20ja%20dokumentit/Kattol%C3%A4mmitys.pdf>] Luettu 10.5.2017
- 2 Seppänen, Olli; Seppänen, Matti. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Helsinki: Sisäilmayhdistys Ry.
- 3 Mikkonen, Risto. 2017. DEE Sähkömagneettisten järjestelmien lämmönsiirto. [<http://docplayer.fi/32236749-Dee-sahkomagneettisten-jarjestelmien-lammonsiirto.html>] Luettu 10.8.2017
- 4 Säteilypaneeliesitys. 2013. Itula Oy.
- 5 Komulainen, Mika. 2015. Kattosäteilypaneelien oikeanlainen suunnittelu. Verkkoaineisto. [<https://www.itula.fi/fi/itula-news/artikkelit/kattosateilypaneelien-oikeanlainen-suunnittelu/>] Luettu 10.5.2017
- 6 Sauvolainen, Pasi. 2017. Säteilypaneelien lämmitys- ja jäähdytystehoon vaikuttavat tekijät. Verkkoaineisto. [<http://blog.lindab.fi/s%C3%A4teilypaneelien-l%C3%A4mmitys-ja-j%C3%A4%C3%A4hdytystehoon-vaikuttavat-te-kij%C3%A4t>] Luettu 2.6.2017
- 7 Balanced Climate Control - An Easy and Efficient Way. 2014. Verkkoaineisto. Belimo Oy. [<http://blog.belimo.com/Blog/bid/76247/Balanced-Climate-Control-An-Easy-and-Efficient-Way>] Luettu 10.8.2017.
- 8 EP015R-R6+SR. 2016. Tekninen esite. Belimo Oy.
- 9 Uponor Comfort Panel suunnittelu- ja asennusohje. 2009. Verkkoaineisto. Uponor Oy. [<https://www.uponor.fi/handler/directdownload.ashx?did=E7E25984C8DC4869920E392468CE82FB>] Luettu 31.5.2017
- 10 Itugraf. 2015. Verkkoaineisto. Itula Oy. [https://www.itula.fi/fi/files/6014/2727/3687/Itugraf_tekninen_esite_2015-03.pdf] Luettu 11.8.2017
- 11 Haapalainen, Esko; Vepsäläinen, Teuvo. 1992. LVI Lämmitystekniikka. Helsinki: VAPK-kustannus.
- 12 Reinikainen, Mika, Johtaja, Hankekehitys- ja kilpailuprojektit, Granlund Oy. 2017. Haastattelu. 13.6.2017. Haastattelijana Markus Kallava.